

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

63-261833

PTO 96-0835

JAPAN, KOKAI
No. 63-261833

MANUFACTURE OF SEMICONDUCTOR SUBSTRATE
[Handotai kiban no seizo hoho]

Chikara Yamaguchi, et al.

UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE
Washington, D.C. December 1995

Translated by: FLS, Inc.

- (19) Japan
- (12) Official Gazette for Unexamined Patents (A)
- (11) Kokai No. 63-261833
(Published unexamined patent application)
- (43) Kokai publication date: October 28, 1988
- (22) Application date: April 20, 1987
- (51) IPC: H 01 L 21/265 21/73
- (72) Inventors: Chikara Yamaguchi, Yoshiharu Kobayashi,
Hiroshi Sakaibara, and Yosuke Yamamoto.
- (71) Applicant: Nihon Denshin Denwa K.K.
- (54) MANUFACTURE OF SEMICONDUCTOR SUBSTRATE

1. Name of invention

Manufacture of semiconductor substrate

2. Claim

Manufacture of semiconductor substrate with the following characteristic:

A P-type, N-type, or a mixture of P-type and N-type impure substance layer is created in the silicone substrate by ion-implanting a P-type, N-type, or a mixture of P-type and N-type impure substance by an ion implanter; after fluorine is ion-implanted into the substrate, the substrate is annealed, producing a semiconductor substrate having a highly concentrated P-type, N-type, or a mixture of P-type and N-type impure substance layer.

3. Detailed explanation of this invention

[Industrial field]

This invention pertains to a manufacturing method of a semiconductor substrate having a highly condensed embedded layer.

[Conventional technology]

As an embedded layer for semiconductor device, the following characteristics are essential: Low sheet resistance, high controllability during the production process, excellent crystallizability of the silicone substrate on the embedded layer, and excellent crystallizability of the mono-crystal silicone epitaxially grown onto the embedded layer.

* Numbers in the margin indicate pagination in the foreign text.

A dispersion method or ion-implantation method is conventionally used to embed a layer in a silicone semiconductor substrate.

A P-type embedded layer is produced by dispersing or ion-implanting a boron or boron fluoride compound (BF , BF_2 , or BF_3).

Compared with the ion-implantation method, the dispersion quantity and dispersion depth are not easily controlled when boron is dispersed for forming a P-type buried layer. Moreover, silicone bromide (Si_2Br_4) produced during the dispersion process is hardly dissolved in hydrofluoric acid, and cannot be removed unless the silicone base is etched, resulting in a rough silicone surface after the etching process. Also, when a polycrystal silicone containing a high ratio of boron is used as a dispersion source, although the dispersion quantity and dispersion depth can be more easily controlled compared with the method which directly disperses boron, insoluble silicone bromide is formed at the boundary surface of the silicone substrate and polycrystal silicone. To provide an easier boron dispersion process and polycrystal silicone removal process, the polycrystal silicone is oxidized. However, with this technique, the impure substance ratio in the silicone decreases /154 since the segregation coefficient of boron (ratio of the density of an impure substance included in the silicone and the density of an impure substance included in the silicone oxide film) is less than 1. Also, the completion of polycrystal silicone oxidization is difficult to identify. With a P-type highly condensed layer having a minimum thickness of $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-5}$ produced by dispersing boron,

when mono-crystal silicon is grown onto a P-type highly condensed layer, transition phenomenon tends to occur in the layer having a high boron density, due to the difference of the bonding distance between silicon and boron, resulting in numerous crystal defects in the mono-crystal silicon epitaxially grown onto the dispersed layer. For example, when a bipolar transistor is produced on a high density embedded layer, the characteristics of the transistor becomes unsatisfactory.

With a method which produces a P-type buried layer by ion-implanting boron, numerous defects caused by ion-implanting occur in the silicon substrate when the implantation exceeds $1 \times 10^{14} \text{cm}^{-2}$. When mono-crystal silicon is crystallized and grown onto the surface of the substrate, numerous defects are produced in the grown crystal, which cannot be eliminated even after the annealing process. With the boron fluoride compound ion-implantation method, the maximum ion-implantation quantity can be increased to approximately $5 \times 10^{14} \text{cm}^{-2}$. However, this improvement is not sufficient enough for reducing the resistance in the P-type buried layer. Also, when a boron fluoride compound is ion-implanted, boron and fluorine are decomposed on the silicon surface, which divides the implantation energy according to the ratio of each substance quantity. For example, the boron-implantation energy is only 36% of the total implantation energy of a boron fluoride compound even when BF which can provide the best energy condition is used. When BF_3 is used, the implantation energy is reduced to only 16%. Therefore, it is not easy to set a wide boron range.

Based on those factors, a boron fluorine compound is not suitable for a method which ion-implants boron at a high energy level, but is suited to the method which forms a thin layer of boron by ion-implanting boron at a minimum energy level to form a sharp distribution of implanted impure substance. Moreover, when a boron fluoride compound is used for ion-implantation, boron and fluorine cannot be individually measured. Also, as a range of boron and fluorine in the compound changes when the energy exceeds 115 KV, the positional relation between boron and fluorine changes due to accelerated energy.

As another method, fluorine or silicone is ion-implemented before the boron implantation to form a P-type embedded layer. Considering the factors that (1) the silicone substrate non-^{← amorphized}crystallized by ion-implanting fluorine or silicone can significantly reduce the amount of channeled boron, and (2) crystal defects can be recovered faster if a silicone mono crystal is further non-crystallized, crystal defects can be recovered faster than the method which does use a non-crystallization process. However, when non-crystallized substrate is recrystallized, the crystal characteristic of the silicone surface is inferior to the crystal characteristic obtained from a mono crystal, and the crystal characteristic of mono-crystal silicone epitaxially grown onto the silicone surface also becomes unsatisfactory.

To produce an N-type embedded layer, arsenic or phosphorous is vapor or liquid-phase deposited; or, arsenic or phosphorous is dispersed or ion-implemented in a polycrystal silicone or silicone

oxide film.

In the method which directly produces an N-type embedded layer using a vapor or liquid phase dispersion, the dispersion quantity and depth cannot be fully controlled compared with the controllability of the ion-implementation method. To solve this problem, an N-type impure substance is dispersed into a polycrystal silicone or silicone oxide film, or doped during the film production process and dispersed into the silicone substrate to form an N-type embedded layer. Although this method can provide an improvement over the controllability of dispersion quantity and depth, the dispersion quantity still cannot be fully controlled. Also, with this method, a silicone oxide film used as a dispersion source during the heat-dispersion process must be removed, where removing polycrystal silicone is difficult.

In a method which produces an N-type embedded layer by directly ion-implanting arsenic or phosphorus, crystal defects caused by ion-implantation drastically increase when the ion-implantation quantity exceeds $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$. When the ion-implantation quantity exceeds $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$, the surface is non-crystallized, and even if the non-crystallized layer is re-crystallized, a large number of defects are produced, and cannot be eliminated by annealing. Moreover, when a mono-crystal silicone is epitaxially grown on the embedded layer, a numerous crystal defects are produced. To solve those problems, arsenic or phosphorous is ion-implanted into a polycrystal silicone or silicone oxide film. The ion-implanted layer is used as a dispersion source and

dispersed into a silicon substrate to create an N-type embedded layer. Compared with the regular ion-implanting method, this method does not deteriorate the crystal characteristic of the silicon substrate. However, the silicon oxide film used as a dispersion source must be removed after the heat-dispersion process, and removing polycrystal silicon is difficult.

[Problems to be solved by this invention]

To eliminate the problems as described above, this invention provides a method that can produce a semiconductor device containing a semiconductor substrate having the following characteristics: low sheet resistance, high controllability during the production process, P-type or N-type highly concentrated embedded layer (up to 10^{20} cm^{-5}), and excellent crystal characteristic of the mono-crystal silicon epitaxially grown on the silicon substrate surface on the embedded layer.

[Method to solve the problems]

To achieve the purpose of this invention, a P-type or N-type impure substance and fluorine are sequentially ion-implanted into a silicon substrate for a semiconductor device. That is, after an impure substance is ion-implanted to form an impure substance layer of selected density, fluorine is ion-implanted into the same area, and annealed to activate the impure substance, completing the P-type or N-type embedded layer production. Moreover, with a high density embedded layer based on this invention produced by ion-implanting a highly concentrated impure substance into the deeper side of silicon substrate, excellent crystal characteristic can be

produced on the silicone substrate surface, and mono-crystal silicone grown onto the silicone substrate surface can provide satisfactory crystal characteristic as well.

With the conventional technique, a boron or boron fluoride compound is ion-implanted to prepare a P-type embedded layer, and an arsenic or phosphorous is ion-implanted to prepare an N-type embedded layer. However, with this type of ion-implantation method, if the silicone substrate surface is treated to provide a crystal characteristic for growing a mono-crystal, a high density layer cannot be embedded in the substrate. In the case of a dispersion method, the controllability of the dispersion process is not sufficient compared with that of an ion-implantation method, and also, a complex production process is required.

To reduce boron channelling during the ion-implantation process, fluorine or silicone is pre-ion-implanted in the area from the silicone substrate surface to the boron range in order to uniformly non-crystallize the silicone in the silicone substrate, and the silicone is recrystallized by annealing. This method takes advantage of the phenomenon that, by ion-implanting fluorine or silicone to non-crystallize the substrate, a steep boron distribution can be produced. However, the crystal characteristic of re-crystallized silicone is inferior to the crystal characteristic of the mono-crystal, and the crystal characteristic of the mono-crystal epitaxially grown onto the re-crystallized silicone is also insufficient.

Therefore, the method based on this invention is clearly different from the conventional method, as it can provide an excellent crystal characteristic of the epitaxially grown mono crystal silicone, and a highly concentrated embedded layer can be embedded due to excellent controllability of the method.

[Operational example]

Figure 1 shows the production sequence of an operational example of this invention, where a P-type or N-type primary embedded layer (2) is formed in a substrate (1). In Part (1) of Figure 1, a specific amount of P-type or N-type impure substance is accelerated to a specific energy by an ion-implantation device. In this case, an average depth of the implanted ion should be $0.3 \mu\text{m}$ or higher. Item (3) designates the first mask (for ion-implanting), and item (4) designates the first ion (P-type or N-type ion). In Part (2), energy for fluorine ion-implantation is determined, and fluorine is ion-implanted into a specific area of the silicone substrate which was ion-implanted in Part (1). The implantation quantity of the fluorine should be $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$, and the thickness should be $1 \sim 1.6$ of the thickness of the impure substance implanted in Part (1). Item (5) designates a fluorine ion, and item (6) designates fluorine ion implantation area. After the ion-implantation, the mask is removed. Part (3) shows the anneal process for activating a P-type or N-type impure substance. Part (4) shows the epitaxial growth of the mono-crystal silicone (7) on the embedded layer (2).

The following describes the ion-implantation method for producing a P-type embedded layer. This example tests the crystal characteristic of the mono-crystal silicone layer produced after an impure material is ion-implanted and anneal-processed, and a mono-crystal silicone is epitaxially grown.

Figure 2 shows the relation between the boron ion implantation quantity and defects on the epitaxially grown crystal. That is, when only boron was ion-implanted, crystal defects were produced /156 when ion-implantation quantity exceeded $3 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$. Under the assumption that the threshold of boron quantity producing defects was $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$, boron and fluorine were sequentially ion-implanted. The range of boron/fluorine and quantity dependency of fluorine were investigated. Figure 3 shows the relation between the boron-fluorine range and crystal defect quantity of the epitaxially grown layer, and Figure 4 shows the relation between the fluorine quantity and crystal defect quantity in the epitaxially grown layer. As shown in the figures, a transition group was detected at the region of fluorine area $\sim 60\%$ of the fluorine area when the fluorine-boron thickness exceeded $0.3 \mu\text{m}$ at a fluorine quantity of 10^{16} cm^{-2} . However, the crystallization characteristic of the silicone substrate surface did not show much change when compared with the non-ion-implanted surface (observed by RBS: Razaforad Back Scattering method). When the crystallization characteristic of mono-crystal silicone epitaxially grown onto the surface was observed after being evaluated with a crystal defect evaluation liquid, the results were the same as

those obtained from the substrate prior to the ion-implementation process. Moreover, the boron implantation dependency at 10^{16} cm^{-2} of fluorine ion-implementation was not detected. As for the order of implantation, when boron was implanted first, better results could be obtained. The best crystallization characteristic was produced on the silicone substrate surface when the fluorine range was approximately 1.6 times the boron range for a thin boron layer (e.g., $0.3 \mu\text{m}$), and approximately equal to the boron range for a thick boron layer. Also, from the results of the secondary ion analysis performed on a P-type high density embedded layer, fluorine was found to be segregated in the distribution similar to the distribution of crystal defects created during the anneal process and fluorine ion-implementation, and separated from the silicone substrate surface. Therefore, with the high density embedded layer based on this invention, the crystal characteristics obtained from the silicone substrate surface area and from the mono-crystal silicone epitaxially grown onto the substrate surface were identical to the characteristics of the silicone substrate to which no ion was implanted. With the method based on this invention, as the crystal defects are sealed into the bottom fluorine area, the crystal characteristics equal to the substrate surface to which no ion was implanted can be obtained.

The following theory can be assumed based on the test results described above and the reason for the transition phenomenon (a: a large number of non-balanced air holes are concentrated on the dense boron surface, and pressed to form a transition phenomenon

called "plasmatic transition"; b: the dislocated part whose both ends are restricted by a deposited substance or other substance is deformed by the stress):

With a silicone substrate, fluorine is segregated to the defects produced by numerous non-balanced air holes created during the ion-implantation process, restricting both ends of dislocated part to cause a transitional loop. The defects mainly caused by the fluorine ion implementation process are trapped by fluorine, and their multiplication can be blocked. As ions exceeding $0.3 \mu\text{m}$ does not cause ion inter-reaction on the silicone substrate surface, the silicone substrate surface does not get damaged, allowing the satisfactory crystallization characteristic to be maintained. Also, as the boron range and major defect areas created by fluorine (approximately 70% of fluorine range) are approximately equal, an excellent crystallization characteristic can be obtained. That is, a high range of ion-implantation is necessary for maintaining a satisfactory crystallization characteristic.

The following describes the ion-implantation performed in the order of a P-type or N-type impure substance and fluorine:

It can be assumed that the fluorine implantation plays an important roll for the ion-implantation process performed in the order of a P-type or N-type impure substance and fluorine. That is, in the case of boron - fluorine implantation, as the crystal characteristic inside the substrate is disturbed by the ion-implantation process, the fluorine implantation can cause steeper

fluorine distribution compared with the distribution obtained by the process not pre-implanting boron; the crystal defects produced by fluorine form a peak, advancing the disturbed crystal characteristic inside the silicone substrate. In other words, the peak of crystal defects created by fluorine is equal to the peak produced by the apparent high density fluorine implantation, which allows the crystal defects to be easily recovered when annealed. With the conventional method which ion-implants in the order of fluorine and P-type or N-type impure substance, the silicone substrate is evenly non-crystallized from the substrate surface to the depth of the boron, and no consideration is made regarding to the mono-crystal silicone epitaxially grown onto the embedded layer and its crystal characteristic. Therefore, the purpose and effectiveness of the conventional method is completely different from those of the method based on this invention which implants an N-type impure substance first before implanting fluorine. /157

As described above, the larger the fluorine ion implementation quantity is, the better crystallization characteristic should be obtained. As shown in Figure 4, when the fluorine ion-implementation quantity exceeds 10^{16} cm^{-2} , the crystallization characteristic deteriorates. This is probably because excessive fluorine inside the substrate which is not separated or used to trap crystal defects tends to form a gas.

The substrate for semiconductor device production method based on this invention can provide the same effectiveness to the N-type impure substance, being able to form a high density P-type or N-

type embedded layer having the same crystal characteristic as that of device to which no ion is implanted.

Figures 5 and 6 show the diagram of production sequence for producing a silicone semiconductor device having multiple types of high density embedded layers (e.g., P-type and N-type). In this case, the P-type and N-type layers may be formed in any order. Item (8) designates the second mask; item (9) designates the second ion; item (10) designates the second embedded layer; item (11) designates the third mask; item (12) designates a fluorine ion-implementation area; and item (13) designates a fluorine ion.

Figure 5 shows an example in which a range of multiple high density P-type and N-type embedded layers is equally made to allow the fluorine implantation energy to be equally distributed. First, an area on the silicone substrate is determined for ion-implimenting a P-type or N-type impure substance, and a P-type or N-type impure substance of specific density is ion-implemented for a minimum of $0.3 \mu\text{m}$. Next, an area on the substrate not used by the first implantation process is selected, and the P-type or N-type impure substance not implemented in the first process is implanted in the same range. Fluorine is then ion-implemented into the areas where impure substances have been implanted for an amount of 10^{16} cm^{-2} at a thickness equal to the thickness of the previous impure substance ~ 1.6 times of the previous impure substance. An anneal process is then performed to form P-type and N-type high density embedded layers. Mono-crystal silicone is then epitaxially grown onto the embedded layers.

Parts (a) and (b) in Figure 6 show an example where the ranges of P-type and N-type impure substances are different. The rest of the processes are the same as those described above [i.e., P-type or N-type ion-implementation; fluorine implementation (10^{16} cm^{-2}) for a range of 1 ~ 1.6 times of the range of impure substance; an anneal process is performed; and a mono-crystal silicone is epitaxially grown onto the embedded layers].

The advantage of this method is that, the crystal defects caused by ion-implementation can be ignored while allowing the P-type or N-type impure substance ion-implementation quantity to be optionally set. The maximum impure substance density should be up to the solubility of P-type or N-type impure substance determined based on the anneal temperature shown in Part (3) of Figure 1. For example, the solubility of boron in silicone is approximately $2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ at 1000°C . No crystal defects exists at the silicone substrate surface area or in the epitaxially grown mono-crystal silicone, as all the crystal defects are sealed in the deep area of the fluorine layer. Therefore, the crystal characteristic of the silicone substrate surface is almost equal to the crystal characteristic obtained prior to ion-implantation. The mono-crystal silicone grown onto the substrate surface can provide the crystal characteristic equal to the crystal characteristic on the substrate surface.

[Effectiveness of this invention]

As described above, with the production method of semiconductor substrate containing a high density embedded layer

based on this invention, a P-type, N-type, or P/N type embedded layer can be created at an optional area for an optional amount, and the substrate surface and mono-crystal layer grown onto the substrate surface can provide excellent crystal characteristic.

4. Simple explanation of the figures

Figure 1 shows the diagram of production sequence of an operational example of this invention, where A P-type or N-type primary embedded layer (2) is formed in a substrate (1). Figure 2 shows the relation between the boron ion implantation quantity and defects on the epitaxially grown crystal. Figure 3 shows the relation between the boron-fluorine balance and crystal defect quantity of the epitaxially grown layer, and Figure 4 shows the relation between the fluorine quantity and crystal defect quantity of the epitaxially grown layer. Figure 5 shows an example in which the range of multiple high density P-type and N-type embedded layers are equal to allow the fluorine implementation energy to be equally distributed. Figure 6 shows an example where the ranges of P-type and N-type impure substances are different. /158

1... Silicone substrate; 2... High density embedded layer; 3... Ion-implementation mask; 4... P-type or N-type ion; 5... Fluorine ion; 6... Fluorine ion implementation area; 7... Mono-crystal silicone.

番号	工程名	説明図
1	N型またはP型不純物をイオン注入 d)	
2	弗素イオン注入 (1と同じ条件で1.6倍の弗素) e)	
3	アニール f)	
4	エピタキシャル成長 g)	

Figure 1

Key: a) Number; b) Process name; c) Explanation figure; d) Ion-implimenting a N-type or P-type impure substance; e) Fluorine ion implementation (1 ~ 1.6 times the amount used in Process 1); f) Anneal; g) Epitaxial growth; h) Ion-injection.

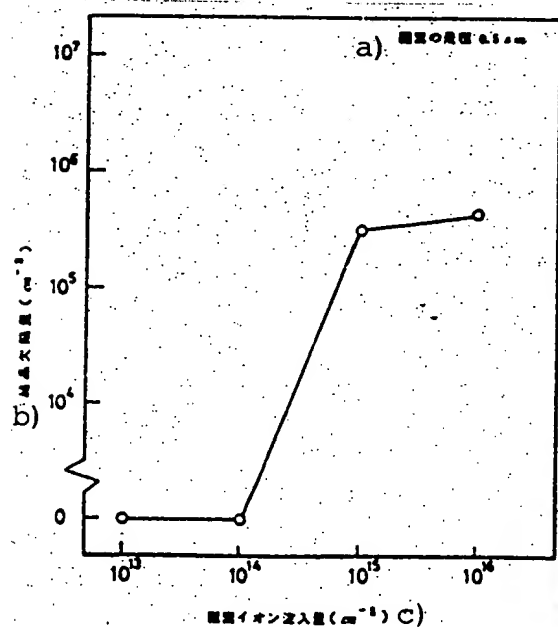


Figure 2

Key: a) Boron range; b) Crystal defect quantity; c) Amount of boron ion-implementation.

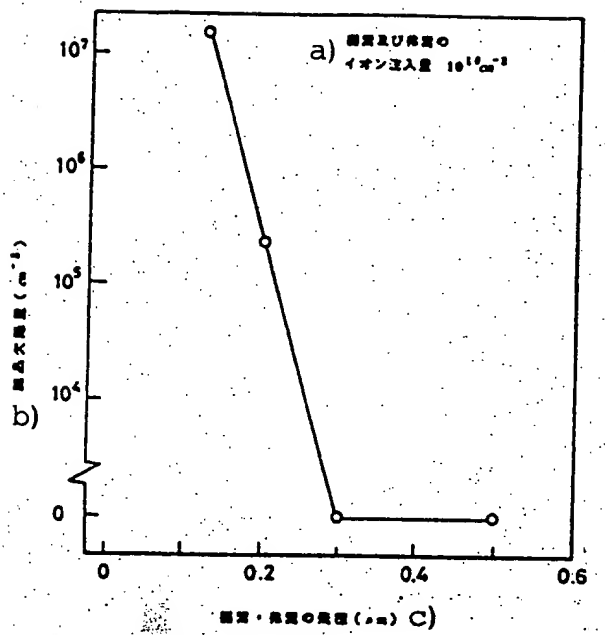


Figure 3

Key: a) Boron and fluorine ion-implementation quantity; b) Crystal defect quantity; c) Range of boron and fluorine.

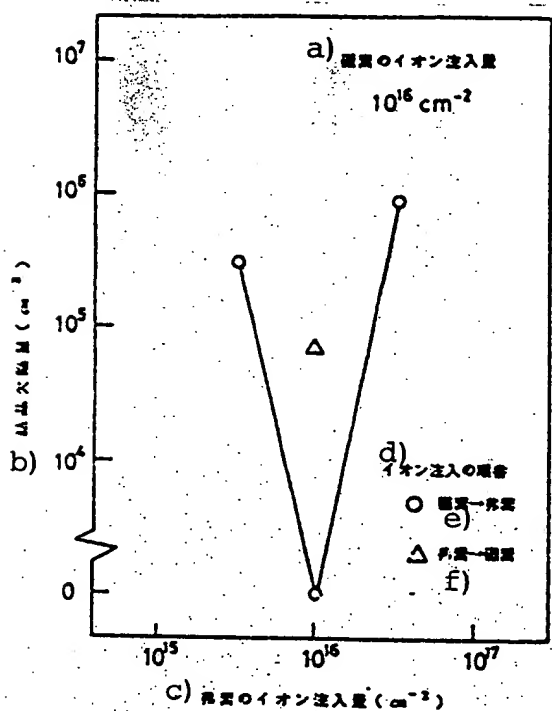


Figure 4

Key: a) Boron ion-implementation quantity; b) Crystal defect quantity; c) Fluorine ion-implementation quantity; d) Ion-implementation sequence; e) Boron → fluorine; f) Fluorine → Boron

/159

番号	工程名	c) 説明図
1	b) P型またはN型不純物のイオン注入 d)	イオン注入 1) 3 2
2	1で注入しなかったN型またはP型の不純物のイオン注入 (1と同し処理) e)	1) イオン注入 9 8 2 10
3	弗素イオン注入 (1と同し処理) f)	i) イオン注入 5 11 2 10 6 12 1
4	アニール g)	2 10 6 12 1
5	エピタキシャル成長 h)	7 2 10 6 12 1

Figure 5.

Key: a) Number; b) Process name; c) Explanation figure; d) Ion-implementation a N-type or P-type impure substance; e) Ion-implementation of N-type or P-type not used previously; f) Fluorine ion implementation (1 ~ 1.6 times the amount used in Process 1); g) Anneal; h) Epitaxial growth; i) Ion-injection.

番号	工程名	c) 説明図
a) 1	b) P型またはN型不純物のイオン注入 d)	
2	再度のイオン注入 (1と同し濃度 1.6倍の量) e)	
3	P型またはN型不純物のイオン注入 (1と同し濃度 1.6倍の量) f)	
4	再度イオン注入 (3と同し濃度 1.6倍の量) g)	

(a)

番号	工程名	c) 説明図
a) 5	b) アニール h)	
6	エピタキシャル成長 i)	

(b)

Figure 6

Key: a) Number; b) Process name; c) Explanation figure; d) Ion-implimenting a N-type or P-type impure substance; e) Fluorine ion implementation (1 ~ 1.6 times the amount used in Process 1); f) Ion-implimenting a .N-type or P-type impure substance not used previously; g) Fluorine ion-implementation (1 ~ 1.6 times the amount used in Process 3); h) Anneal; i) Epitaxial growth; j) Ion-injection.

⑫ 公開特許公報 (A)

昭63-261833

⑪ Int. Cl.

H 01 L 21/265
21/74

識別記号

庁内整理番号

Z-7738-5F
7131-5F

⑬ 公開 昭和63年(1988)10月28日

審査請求 未請求 発明の数 1 (全8頁)

⑭ 発明の名称 半導体基板の製造方法

⑮ 特 願 昭62-96842

⑯ 出 願 昭62(1987)4月20日

⑰ 発 明 者 山 口 力 神奈川県厚木市森の里若宮3番1号 日本電信電話株式会社
社厚木電気通信研究所内

⑱ 発 明 者 小 林 由 治 神奈川県厚木市森の里若宮3番1号 日本電信電話株式会社
社厚木電気通信研究所内

⑲ 発 明 者 榊 原 裕 神奈川県厚木市森の里若宮3番1号 日本電信電話株式会社
社厚木電気通信研究所内

⑳ 発 明 者 山 本 庸 介 神奈川県厚木市森の里若宮3番1号 日本電信電話株式会社
社厚木電気通信研究所内

㉑ 出 願 人 日本電信電話株式会社 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号

㉒ 代 理 人 弁理士 鈴江 武彦 外2名

明 細 書

1. 発明の名称

半導体基板の製造方法

2. 特許請求の範囲

シリコン基板内部に、イオン注入で形成したP型、或は、N型不純物層、或は、前述の2種の不純物層に、弗素をイオン注入した後、アニールし、P型、或は、N型、或は、前述の2種の高濃度埋込層を有する半導体基板を製造することを特徴とする半導体基板の製造方法。

3. 発明の詳細な説明

(産業上の利用分野)

本発明は、高濃度の埋込層を有する半導体基板を製造する方法に関するものである。

(従来の技術)

一般に、半導体装置用埋込層には、低いシート抵抗、製造時の高い制御性、その直上のシリコン基板の結晶表面の良好な結晶性及びその表面上にエピタキシャル成長させた単結晶シリコンの良好な結晶性が要求される。

従来、シリコン半導体装置内の埋込層は、拡散或はイオン注入で形成している。

P型埋込層は、硼素を気相或は液相拡散、或は、硼素或は弗化硼素化合物(BF₃、BF₂、或は、BF₃)のイオン注入で、製造していた。

硼素を拡散しP型埋込層を形成する方法は、イオン注入に比べ拡散量や拡散深さの制御性が劣っている。さらに、基板シリコン表面に拡散時にできる難溶性の硼化シリコン(Si₃B₂)は、弗酸にも溶けにくく、下地のシリコンをエッチしないと取れず、エッチ残りがあるときあるいはエッチされた後でもシリコン表面が荒れるなどの欠点がある。また、硼素を高濃度に含有する多結晶シリコンを拡散源とした時には、直接拡散する場合に比べ拡散量や拡散深さの制御性が向上するが、基板シリコンと多結晶シリコンとの界面に難溶性の硼化シリコンが形成される欠点があった。そのため、硼素の拡散と多結晶シリコンの除去を容易にする目的で、この多結晶シリコンを酸化する方法があるが、硼素の偏析係数(シリコン中の不純物の平

鈍化膜とシリコン酸化膜中の不純物の平衡濃度との比)が1より小さいためシリコン中の濃度が低下することや、多結晶シリコンを酸化する時の終了判定が困難である欠点がある。硼素を拡散により形成した $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ 以上のP型高濃度層では、単結晶シリコンをP型高濃度層上に成長させると、シリコンと硼素との結合距離との相違から高濃度に拡散させた硼素を含む層では伝移が発生しやすく、この上にエピタキシャル成長させた単結晶シリコン中にも結晶欠陥が多数発生する欠点があった。例えば、バイポーラトランジスタを高濃度埋込層上に製造すると特性が劣悪なものしか得られない欠点があった。

硼素をイオン注入することによりP型埋込層を製造する方法では、基板シリコン内にイオン注入による欠陥がイオン注入量 $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ 以上で著しく多く、その上に単結晶シリコンを結晶成長させると、その中にも多数の欠陥が生じ、アニールしてもその欠陥が解消しない欠点があった。一方、弗化硼素化合物をイオン注入する方法では、イオ

ン注入量 $5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ 程度まで改善されることが良く知られている。しかし、この程度の改善ではP型埋込層内の抵抗の低減には余り効果がない。また、弗化硼素化合物をイオン注入するとシリコン表面で硼素と弗素が分解し、その時、注入エネルギーはその質量比に分解される。例えば、硼素の注入エネルギーは最も条件の良いBFでさえ、弗化硼素化合物の注入エネルギーの36%でしかなく、BF₃にいたっては16%しか利用できず、硼素の飛程を大きく設定するのは容易ではない。従って、弗化硼素化合物は、硼素を高エネルギーでイオン注入する用途ではなく、硼素をできる限り低エネルギーでイオン注入し、注入不純物の分布を急峻にし、鋭い接合を作る用途にあっていけると言える。さらに、弗化硼素化合物でイオン注入しているため弗素や硼素の注入量を個別に設定できない、或は、硼素の飛程に対する弗素の飛程の大小関係が注入エネルギー115KVを境に変わるため、弗素と硼素の位置関係が加速エネルギーにより変わる欠点があった。

また、弗素、或は、シリコンを予めイオン注入してから硼素をイオン注入しP型埋込層を形成する方法がある。この方法では、①弗素、或は、シリコンのイオン注入により非晶質化した基板シリコンでは、チャンネルングする硼素はかなり減少すること、②シリコン単結晶をより非晶質化したほうが結晶欠陥の回復を早めることを利用しており、確かに結晶欠陥の回復は非晶質化しない場合より逆いが、非晶質化した基板を再結晶させたシリコン表面の結晶性は単結晶に比べ劣っており、この上にエピタキシャル成長させた単結晶シリコンの結晶性もまた悪いという欠点があった。

同様に、N型埋込層は、砒素或は燐を、気相或は液相拡散、或は、砒素或は燐を多結晶シリコン、或はシリコン酸化膜に拡散或はイオン注入し、そこから拡散し、製造していた。

気相或は液相拡散により直接N型埋込層を製造する方法は、拡散量や拡散深さの制御性がイオン注入に比べ劣っている。この方法の改善策として、多結晶シリコン、或は、シリコン酸化膜にN型不

純物を拡散、或は、膜製造時にドーブし、そこから基板シリコンに拡散し、N型埋込層を製造する方法がある。この方法は、直接拡散で製造する方法に比べ拡散量や拡散深さの制御性が向上するが、イオン注入に比べ拡散量の制御性はまだ劣り、熱拡散後、拡散源として使用したりシリコン酸化膜を除去しなければならないこと、或は、多結晶シリコンの除去が困難である欠点があった。

砒素或は燐を直接基板シリコンにイオン注入することによりN型埋込層を製造する方法では、イオン注入による欠陥がイオン注入量 $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ 以上で著しく多く、イオン注入量 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ 以上では非晶質化し、再結晶させると、その中に多数の欠陥が生じ、アニールしてもその欠陥が解消しない欠点があった。さらに、この埋込層上に単結晶シリコンをエピタキシャル成長させると、結晶欠陥が多数発生する欠点があった。この方法の欠点を改善するために、多結晶シリコン或はシリコン酸化膜に、砒素或は燐をイオン注入し、それを拡散源とし、基板シリコンに拡散し、N型埋込

入で製造する方法に比べイオン注入による欠陥での基板シリコンの結晶性の劣化を考慮しても、熱拡散後、拡散源として使用したシリコン酸化膜を除去しなければならないこと、或は、多結晶シリコンの除去が困難である欠点があった。
(発明が解決しようとする問題点)

本発明は、これらの欠点を解決するために半導体装置内に低いシート抵抗、製造時の高い制御性、不純物濃度 10^{20} cm^{-3} 程度までの P 型或は N 型高濃度埋込層を有し、高濃度埋込層上のシリコン基板表面あるいはその上にエピタキシャル成長させた単結晶シリコンが良好な結晶性を有するような半導体基板を製造する方法を提供することを目的とする。
(問題点を解決するための手段と作用)

本発明は上記目的を達成するために、半導体装置の基板であるシリコンに P 型、或は、N 型の不純物、弗素の順着にイオン注入することを特徴にしている。即ち、最初に、不純物を所望の不純物濃度になるようにイオン注入を行ない、つぎに、

化し、アニールにより再結晶化させる方法がある。これは、基板シリコンに弗素或はシリコンをイオン注入することにより非晶質化した方が急峻な弗素の分布が得られることを利用しているが、再結晶シリコンの結晶性は単結晶に比べ劣っており、この上にエピタキシャル成長させた単結晶の結晶性もまた悪いものとなっている。

従って、本発明は、エピタキシャル成長させた単結晶シリコンの結晶性が良い点、制御性よく高濃度の埋込層を製造できる点で、従来の技術とは異なっている。

(実施例)

第 1 図は、本発明の一実施例の製造手順を説明する図であって、基板シリコン 1 に P 型或は N 型の 1 種類の第 1 の埋込層高濃度埋込層 2 を製造する場合のものである。第 1 項は、イオン注入装置により所定のエネルギーに加速された P 型或は N 型不純物を所定の注入量までイオン注入する。不純物のイオン注入については、イオン種の平均注入深さ(飛程)が $0.3 \mu\text{m}$ 以上にすることが望ましい。

して、アニールで加熱、不純物を活性化させ、P 型、或は、N 型埋込層を製造することを特徴にしている。さらに、本発明では高濃度埋込層は、基板シリコンの深い所に高濃度のイオン注入を行ない、シリコン基板表面が良好な結晶性を有し、さらにこの上に結晶成長させた単結晶シリコンが良好な結晶性を持つことを特徴にしている。

従来の技術では、P 型埋込層では、硼素、或は、非化硼素化合物をイオン注入し、N 型埋込層では、砒素、或は、磷をイオン注入している。しかし、このようなイオン注入方法では、基板シリコンに単結晶成長可能な結晶性を求めると高濃度の埋込層ができない。また、拡散による方法では、拡散の制御性がイオン注入に比べ劣ったり、製造工程の複雑化が生じる。

また、硼素のイオン注入時のチャンネルリングを低減させるために、予め、弗素、或は、シリコンをイオン注入し、基板シリコン表面から硼素の飛程程度の深さまでの基板シリコンを均一に非晶質

3 は第 1 のマスク(イオン注入用マスク)であり、4 は第 1 のイオン(P 型または N 型イオン)である。第 2 項は、第 1 項でイオン注入した領域の基板シリコンを対象に、弗素のイオン注入するエネルギーを決め弗素をイオン注入する。弗素のイオン注入は、注入量が $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ 、飛程が第 1 項でイオン注入した不純物の飛程の 1 ~ 1.6 倍が望ましい。5 は弗素イオンであり、6 は弗素イオン注入領域である。イオン注入後はマスクを除去する。第 3 項は、P 型或は N 型不純物の活性化のためのアニールである。第 4 項は埋込層 2 上の単結晶シリコン 7 のエピタキシャル成長である。

始めに P 型の埋込層を製造するイオン注入の方法について述べる。ここでは、イオン注入、アニール、単結晶シリコンをエピタキシャル成長させた後、基板表面の結晶性及び主にエピタキシャル成長させた単結晶シリコン層の結晶性を検討した結果について述べる。

第 2 図は弗素イオン注入量とエピタキシャル成

ン注入ではイオン注入量 $3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ 以上の領域で結晶欠陥が発生している。図3だけで()に欠陥が生じるイオン注入量として $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ を選定し、硼素・弗素の順番にイオン注入し、弗素・硼素の飛程、及び、弗素の注入量の依存性を調べた。第3図は硼素・弗素の飛程とエピタキシャル成長層の結晶欠陥量であり、第4図は弗素のイオン注入量とエピタキシャル成長層の結晶欠陥量である。その結果、第3図、第4図のように、弗素・硼素の飛程 $0.3 \mu\text{m}$ 以上、弗素の注入量 10^{16} cm^{-2} で、弗素の飛程からその飛程の6割程度の領域に転移ループが抽出されたものの、基板シリコン表面の結晶性は、イオン注入前と遜色ない状態であり(RBS:ラザフォードバックスキャタリング法の観察による)、この上にエピタキシャル成長させた単結晶シリコンの結晶性は、結晶欠陥評価液で評価した後観察すると、イオン注入前の基板シリコンと同様であった。さらに、弗素のイオン注入量 10^{16} cm^{-2} における硼素の注入量依存性は認め

し、その集合した非平衡空孔が押しつぶされてできたプラズマティック転移ループとよばれる刃状転移ループ、②析出物等で両端が拘束されている転位が応力でフランク・リード源の振舞をしてできた転位ループ)より、以下が推定出来る。即ち、基板シリコンにおいて、イオン注入で生じやすい多量の非平衡空孔により生じた欠陥に弗素が偏析し、転位の両端を拘束し転位ループとなる。次に弗素のイオン注入で生ずる欠陥は、弗素によりトラップされ、弗素が欠陥をゲタリングし、欠陥の増殖を抑えている。イオン種の飛程が $0.3 \mu\text{m}$ 以上のため基板シリコン表面でのイオン種との相互作用が小さく、基板シリコン表面でのダメージが少ないために基板シリコンの良好な結晶性が保たれていると考えられる。さらに、硼素の飛程と弗素が作る主な欠陥の位置(弗素の飛程のおよそ70%)がほぼ同じであることも良好な結晶性が保たれている要因の一つと言えよう。つまり、大きな飛程でイオン注入することが良好な結晶性を保つのに必要であると言える。

4図に示すように、本発明の硼素・弗素注入法は好であった。硼素の飛程が $0.3 \mu\text{m}$ の良い場合には、弗素の飛程は硼素の飛程の約1.6倍、深い場合には、弗素と硼素の飛程が同程度で、基板シリコン表面の結晶性の劣化がなく良好であった。さらに、2次イオン分析から、P型高濃度埋込層において、アニールと共に弗素のイオン注入で生じた欠陥分布と相似の分布に弗素が偏析すること、及び、弗素が基板シリコン表面からの脱離が、明らかになった。従って、本発明による高濃度埋込層は、基板シリコン表面付近、及び、その上にエピタキシャル成長させた単結晶シリコンの結晶性はイオン注入をした基板シリコンと同様に良好であり、この方法による結晶欠陥は、弗素の飛程程度の深いところに閉じ込められ、基板シリコン表面の結晶性はイオン注入前と遜色ないと考えられる。

以上の実験事実と、考えられている転位ループの成因(①多量の非平衡空孔が、表面面上に集ま

つぎに、良好な結晶性を保つのに必要なP型或はN型不純物・弗素の順番でのイオン注入について述べる。P型或はN型不純物・弗素の順番でイオン注入することに対して、弗素のイオン注入でのプロファイルが大きな役割を演じていると予想される。即ち、硼素・弗素の順序でイオン注入する場合には、硼素のイオン注入で基板シリコン内の結晶性が乱れているため、弗素をイオン注入すると硼素を予めイオン注入しない場合より弗素の分布が急峻化すると共に、弗素がつくる結晶欠陥も急峻化し、基板シリコン内の結晶性の乱れが進む。言い換えると、弗素が作った結晶欠陥のピークでは、見掛け上高濃度に弗素をイオン注入したのと同等であり、アニールで結晶欠陥が回復しやすくなったと予想される。従来の弗素・P型或はN型不純物の順番でイオン注入する方法は、予め、弗素のイオン注入により、基板シリコン表面から硼素の飛程程度の深さまでの基板シリコンを均一に非晶質化することを目的にしており、この埋込層上への単結晶シリコンのエピタキシャル成長や

注入とその目的やその効能も全く異なっている。

これまでの記述より、弗素のイオン注入量は大きいほど結晶性は良いはずであるが、第4図に示すように、弗素のイオン注入量が 10^{14}cm^{-2} より大きい結晶性が劣化するのは、脱離や結晶欠陥のトラップに使用されない基板シリコン内の過剰な弗素がガス化しようとするためと考えられる。

以上から、本発明の半導体装置用基板の製造方法はN型の不純物に対しても同様な効果が期待でき、イオン注入前と遜色ない良好な結晶性のP型、或は、N型の高濃度埋込層が実現できるものである。

第5図、第6図は、P型とN型の2種類以上の高濃度埋込層を有するシリコン半導体基板を製造する場合の製造手順を説明する図であって、P型或はN型のどちらから先に製造してもよい。8は第2のマスク、9は第2の

層上に単結晶シリコンをエピタキシャル成長する。

第6図(a)、(b)は、P型とN型の不純物の飛程が異なる場合であって、P型、N型それぞれの領域にP型或はN型不純物をイオン注入し、それぞれのイオン種の飛程の1~1.6倍となるように弗素の飛程を決め、それぞれの領域に 10^{16}cm^{-2} イオン注入を行ない、アニールをする。P型及びN型の高濃度埋込層上に単結晶シリコンをエピタキシャル成長する。

その効果としては、イオン注入による結晶欠陥を気にせず、P型或はN型不純物のイオン注入量が任意に設定できる利点がある。その最大値の不純物濃度としては、第1図第3項においてアニール温度で決定されるP型或はN型不純物の固溶度程度までで、例えば硼素のシリコン中での固溶度は 1000°C では不純物濃度として $(2 \times 10^{20}\text{cm}^{-3})$ 程度である。そして、基板シリコン表面付近、及び、その上にエピタキシャル成長させた単結晶シリコン内に結晶欠陥は認められず、本発明により発生した結晶欠陥は、弗素の飛程程度の深いところに

ンである。

第5図は、P型とN型の2種類以上の高濃度埋込層の飛程が同じ場合であって、弗素の注入エネルギーを同一にできるため、P型とN型の2種類以上の高濃度埋込層を有する半導体基板を製造する説明図である。最初に、基板シリコンにP型或はN型不純物のイオン注入領域を設定後、所定濃度のP型或はN型不純物を $0.3\mu\text{m}$ 以上の飛程でイオン注入する。つぎに、最初にイオン注入したP型或はN型不純物のイオン注入領域とは異なる領域を設定後、すでにイオン注入した不純物と異なる所定濃度のN型或はP型不純物を既にイオン注入した不純物と同じ位の飛程でイオン注入する。その後、既にP型或はN型不純物をイオン注入した領域に、弗素を注入量 10^{16}cm^{-2} で既にイオン注入した不純物の飛程と同一程度から1.6倍の飛程でイオン注入後、アニールを行ない、P型及びN型の高濃度埋込層とする。P型及びN型の高濃度埋込

閉じ込められ、基板シリコン表面の結晶性はイオン注入前と遜色ない利点がある。さらに、その上に成長した単結晶シリコンの結晶性も、同様に基板シリコンの結晶性と遜色ないものとなっている。(発明の効果)

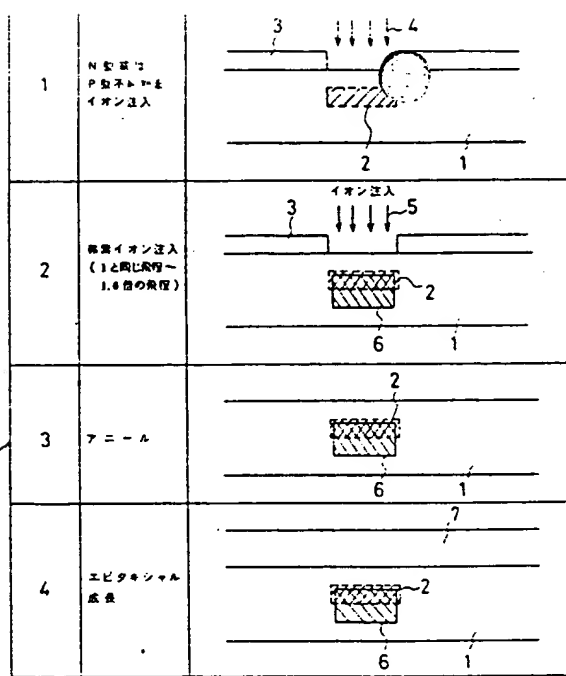
以上説明したように、本発明による高濃度埋込層を有する半導体基板の製造方法は、任意の領域に、任意の注入量で、基板表面あるいはその上に成長させた単結晶層の結晶性の劣化がなく、少なくともP型、或は、N型高濃度埋込層を有する半導体基板を製造できる利点がある。

4.図面の簡単な説明

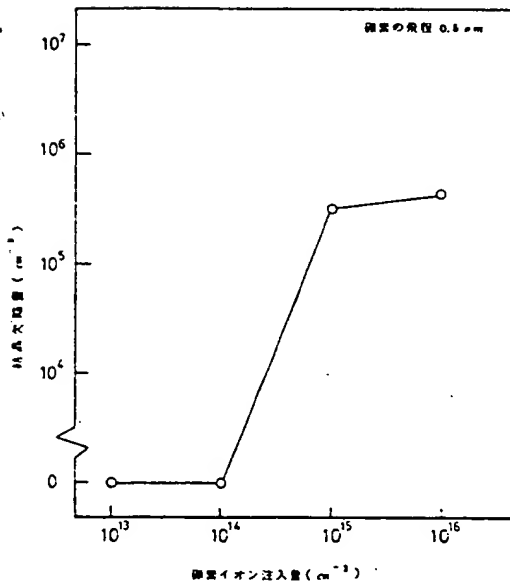
第1図は本発明によるP型、或は、N型埋込層の製造手順の一例を示す図、第2図は硼素のイオン注入量に対する結晶欠陥量の一例を示す図、第3図は弗素・硼素の飛程及びイオン注入量を同一にし飛程に対する結晶欠陥量の一例を示す図、第4図は弗素のイオン注入量に対する結晶欠陥量の一例を示す図であり、ここで硼素のイオン注入量は $1 \times 10^{16}\text{cm}^{-2}$ 、飛程は $0.3\mu\text{m}$ 、弗素の飛程は 0.5

第5図はP型とN型の不純物の飛程が同一の場合であって、第6図はP型とN型の不純物の飛程が異なる場合である。

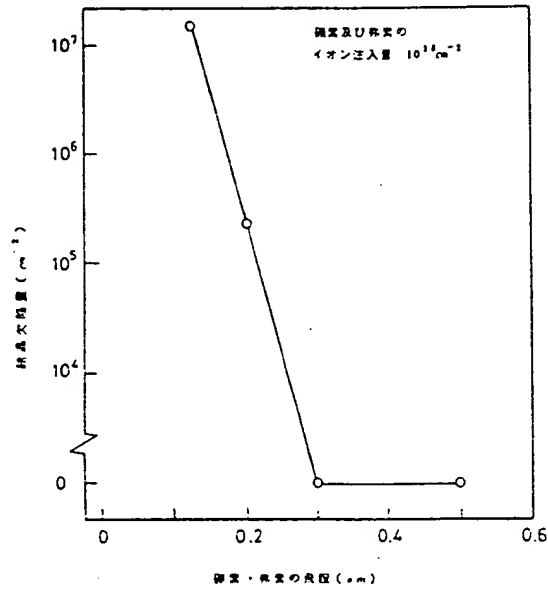
1…基板シリコン、2…高濃度埋込層、3…イオン注入用マスク、4…P型またはN型イオン、5…弗素イオン、6…弗素イオン注入領域、7…単結晶シリコン。



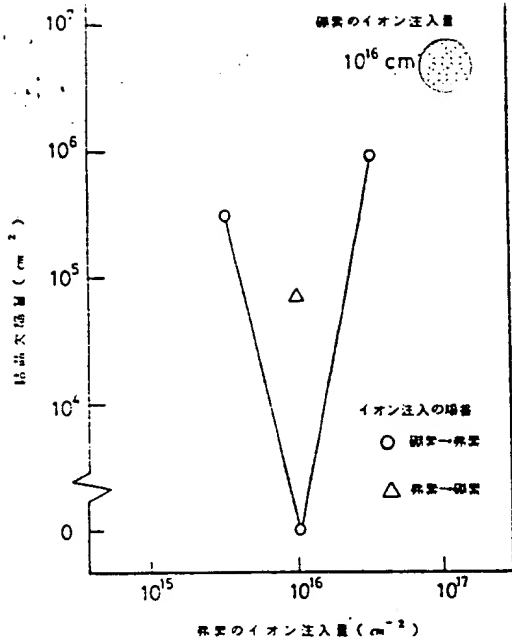
第1図



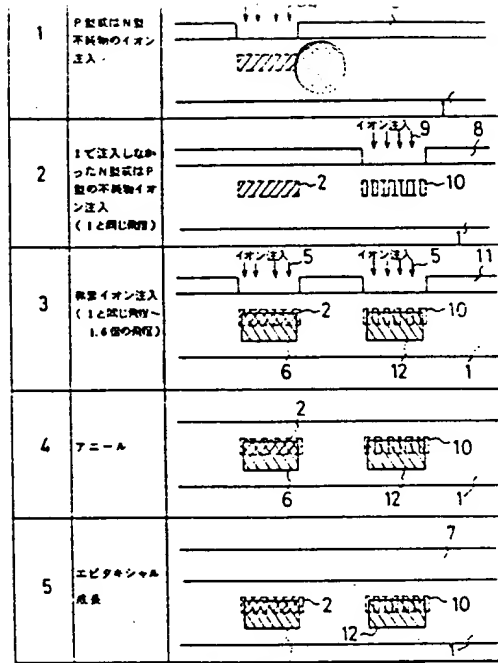
第2図



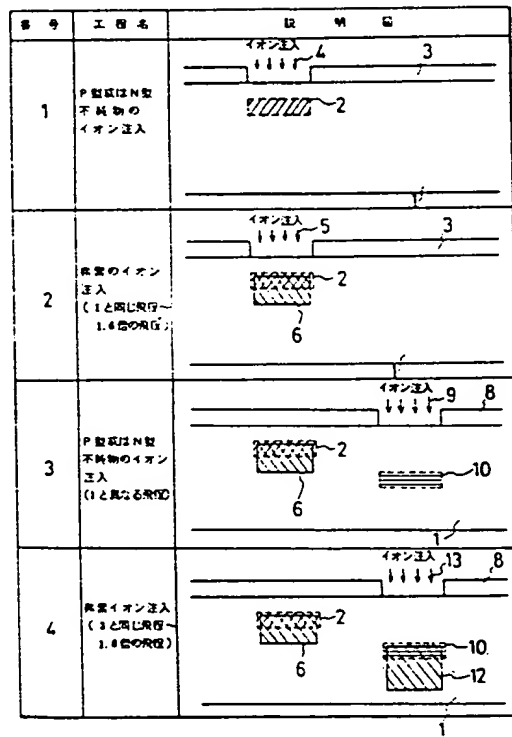
第3図



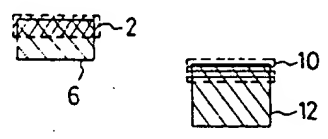
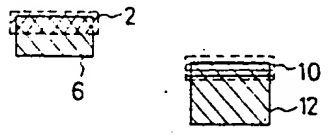
第 4 図



第 5 図



第 6 図(a)

番 号	工 程 名	注 明 図
5	アニール	
6	エピタキシャル成長	

第 6 図 (b)